

鳥取大学 正員 〇 杯 昭富
鳥取大学 正員 西 林 新 蔵
鳥取大学 学員 前 田 健 文

1. ま え が き

本研究は、コンクリートの耐海水性に関する研究プロジェクトの一環として行なったものである。ここでは、普通ポルトランドセメントおよび耐海水セメント、高炉セメントC種を用いたコンクリートの劣化促進試験*を200サイクルまで施した供試体について、セメント、水セメント比、混和剤、練混ぜ水、浸漬水、養生、さらにひびわれが中性化に与える影響を検討した結果について述べる。

2. 実験概要

コンクリートの配合を表-1に、実験計画を表-2に、それぞれ示す。

劣化促進処理を200サイクル施した同一条件の供試体3本の内1本を、図-1(a)に示すように断面からそれぞれ2.5, 5.0, 15 cmの位置をコンクリートカッターで切断し、その断面にフェノールフタレイン(P.P)0.1%アルコール溶液を塗布し、平均中性化深さを図-1(b)に示す算式によって求めた。その際に、コンクリートのひびわれ深さ、幅をマイクロスタグで観測した。

3. 結果と考察

(1) 試験結果

中性化試験結果を表-3に、各断面に於いて観察されたひびわれ最大幅、深さ、数の測定結果を表-4に示す。

(2) 中性化試験による考察

(a) 浸漬水の影響：浸漬水の影響を表-3に示す中性化面積から考察すると、水道水中よりも海水中に浸漬したものの方が大きい。これは海水中の Cl^- によって $Ca(OH)_2$ が水によく溶ける $CaCl_2$ に変化し、浸漬水中に溶出し中性化が進んだものと思われる。レガレ、NS40、BNLW-35*については、逆に水道水中浸漬の方が中性化が大きい。

(b) 練混ぜ水の影響：NS40、NS40-288を除く全ての供試体について、海水練りの方が中性化が進

表-1 コンクリートの示方配合

コンクリート種別	最大粒径(mm)	粗骨材割合(%)	スランプレッド厚(cm)	水セメント比(%)	配合率(%)	単位量 (kg/m ³)				
						水 W	セメント C	粗骨材 S	細骨材 G	混和剤 (cc)
普通ポルトランドセメント	20	50	75±2	40	37	145	363	661	1152	C-025%
	20	25	75±2	60	42	158	263	797	1127	—
耐海水セメント	20	50	75±2	40	37	144	360	655	1142	—
	20	25	75±2	60	42	164	272	782	1113	—
高炉セメントC種	20	30	75±2	40	34	184	461	570	1132	—
	20	30	75±2	40	34	162	405	619	1230	4050 Poz No 8
	20	15	75±2	40	36	171	428	627	1137	4000 NL-4000
	20	15	75±2	40	40	147	368	701	1145	11040 NL-4000

表-2 実験計画表

要 因	水 準 及 び 記 号
セメントの種類	普通ポルトランド : N 耐海水セメント : S 高炉セメント(C種) : B
水セメント比	40, 60 (%)
混 和 剤	無添加 : N 減水剤ポゾリスNo.8IMP : P 流動化剤ポゾリスNL-4000 : NL
浸 漬 水	水道水 (W), 海水 (S)
練 混 ぜ 水	水道水 (W), 海水 (S)
浸 漬 時 材 令	3日 : 3, 28日 : 28, 3月 : 3M
測 定 項 目	中性化試験 : 中性化面積、中性化深さ ひびわれ特性 : ひびわれ深さ、数 動弾性係数 : $10 \times 10 \times 40$ (cm) 圧縮強度 : $10 \times 10 \times 10$ (cm)

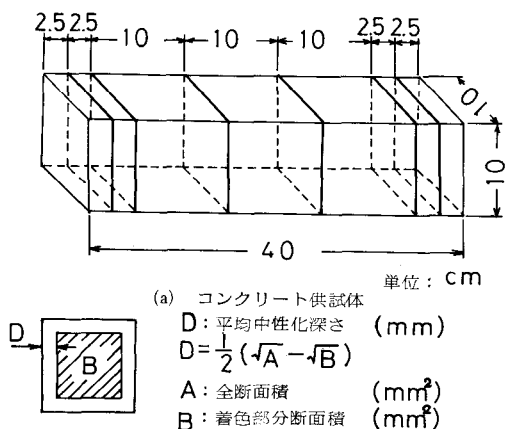


図-1 中性化供試体及び中性化深さの算定

行っていることがわかった。

(c) セメントの種類による影響：各種セメントの平均中性化深さの大きさを比較すると、普通ポルトランド、耐海水、高炉セメントC種の順に大きく、特にBNS-3S, BNS-2BSに比べて中性化が著しく、平均中性化深さは普通セメントの約3の倍に達した。

(d) 水セメント比の影響：普通ポルトランド、耐海水セメントについて見ると、水セメント比の大きいものの方が中性化がより進行しており、特に普通ポルトランドセメントの海水練りによる傾向が著しい。

(e) 養生条件の影響：一般に養生期間が長いものほど中性化に対する抵抗性の改善が認められる。しかし、SW-28S, BP-28Sに比べてその効果が現れなかった。

(f) 阻害剤の影響：高炉セメントのみにフェノール系阻害剤を添加し、海水練りによる海水浸漬のコンクリートでは、中性的化に対する抵抗性を改善している。

(3) ひびわれ特性

ひびわれ幅は、海水練りによる若干大きいほか、コンクリートの種類別では、普通、耐海水セメントよりも高炉セメントの方が小さい。ひびわれ深さは、海水練りによる海水浸漬のコンクリートでは、耐海水、高炉セメントに海水浸漬したものの中には、中心付近までひびわれが達しているものもあった。ひびわれ数は、海水浸漬、海水練りのコンクリートに比べて多く、特にBNS, BNLに顕著であった。また、供試体の端部にひびわれが集中し、中には崩れているものもあった。

(4) 中性化深さとひびわれ特性との関係

ひびわれ特性と中性化深さとの関係を図-2に示す。

この図から、耐海水、高炉セメントに比べて、ひびわれと中性化深さの間に強い相関があり、ひびわれに沿って中性化が進むことがわかった。一方、普通ポルトランドセメントは、ひびわれと平均中性化深さの相関は弱い。これは、耐海水、高炉セメントに比べ遊離の $Ca(OH)_2$ が多く存在し、ひびわれが進展しても容易に中性化が進まないことを示している。

4. おわりに

中性化試験の結果から、耐海水、高炉セメントは普通セメントより中性化しやすい。さらに練り混ぜ水セメントの海水の使用、海水浸漬は中性化を助長する。しかし、適当な阻害剤の使用、適切な配合とすることによって中性化、ひびわれを低減させることが予想される。

*西村：耐海水性に関する実験的研究、土木学会 22, 33 同年論文選集, 第5部

表-3 中性化試験結果

供試体の 種類	中性化 深さ A ₁ (mm)	中性化深さのばらつき										平均値 A ₁₀ (mm)	中性化深さのばらつき		平均値 A ₁₀ (mm)	
		A1A3	AS1A4	AS1A4	AS1A4	AS1A4	AS1A4	AS1A4	AS1A4	AS1A4	AS1A4		標準偏差	分散		
NW40-3W	3.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
	4.2	21.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
	28.5	4.1	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	28.5	4.1	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
NW60-3W	5.7	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
	5.7	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
	28.5	5.7	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
	28.5	5.7	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
NS40-3W	1.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
	1.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
	28.5	1.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
	28.5	1.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
NS60-3W	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	28.5	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	28.5	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
SW40-3W	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	28.5	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	28.5	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
SW60-3W	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	28.5	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	28.5	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
SS40-3W	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	28.5	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	28.5	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
SS60-3W	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	28.5	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	28.5	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
BNW40-3W	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	28.5	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	28.5	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
BMS40-3W	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	28.5	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	28.5	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
BPW40-3W	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	28.5	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	28.5	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
BPS40-3W	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	28.5	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	28.5	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
BNLW40-3W	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	28.5	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	28.5	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
BNL40-3W	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	28.5	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	28.5	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
BNL60-3W	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	28.5	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	28.5	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
BNL80-3W	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	28.5	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	28.5	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
BNL100-3W	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	28.5	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	28.5	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

* NL-40003000cc/Cement100kg

表-4 ひびわれ特性の結果

コンクリート の種別	平均 ひびわれ 幅 (mm)	平均 ひびわれ 長さ (mm)	平均 ひびわれ 深さ (mm)	コン クリート の種別	平均 ひびわれ 幅 (mm)	平均 ひびわれ 長さ (mm)	平均 ひびわれ 深さ (mm)
NW40-3W	0.6	2.0	0.6	BN40-3W	0.11	9.0	1.2
NW40-3S	1.5	11.6	4.6	BN40-3S	0.8	44.0	4.0
NW40-2BS	1.1	4.5	3.5	BN40-2BS	0.69	34.0	5.0
NW60-3W	0.8	7.7	6.6	BN40-3MS	0.80	22.0	50.0
NW60-3S	1.2	11.6	4.1	BPW40-3W	—	—	—
NW60-2BS	1.5	18.1	16.1	BPW40-3S	0.10	5.0	3.0
NS40-3W	1.4	17.6	18.4	BPW40-2BS	—	—	—
NS40-3S	1.1	17.4	12.6	BPW40-3MS	0.05	2.0	1.0
NS40-2BS	1.1	14.6	5.4	BP50-3W	—	—	—
NS60-3W	1.4	15.8	7.8	BP50-3S	0.16	11.0	10.0
NS60-3S	1.2	16.2	11.6	BP50-2BS	0.16	17.0	3.0
NS60-2BS	1.7	11.1	13.3	BP60-3MS	0.01	1.0	2.0
SW40-3W	0.7	14.7	19.5	BNLW40-3W	—	—	—
SW40-3S	0.6	3.6	0.8	BNLW40-3W'	—	—	11.0
SW40-2BS	2.3	40.2	27.4	BNLW40-3S	0.03	4.0	5.0
SW40-3W	1.8	10.3	12.6	BNLW40-3S'	0.03	2.0	7.0
SW40-3S	1.7	33.0	26.6	BNLW40-3S'	0.09	2.0	3.0
SW40-2BS	2.2	41.7	21.8	BNLW40-3MS	0.24	14.0	2.0
				BNL50-3W	0.42	2.0	4.0
				BNL50-3S	0.16	15.0	14.0
BNW40-3W	0.39	21.6	12.0	BNL50-3S'	0.43	19.0	33.0
BNW40-2BS	0.11	7.0	2.0	BNL50-3MS	0.53	20.0	28.0
BNW40-3MS	0.14	13.0	3.0	BNL40-2BS	0.73	41.0	35.0
				BNL40-3MS	0.78	38.0	18.0